

**УТВЕРЖДАЮ**  
Первый проректор  
ФГАОУ ВО «СПбПУ»

Сергеев В.В.

« 01 » \_\_\_\_\_ 2024 г.

### **ОТЗЫВ ВЕДУЩЕЙ ОРГАНИЗАЦИИ**

федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого» на диссертацию Лапина Константина Викторовича **«Методика испытаний сетей централизованного теплоснабжения в эксплуатации на фактические потери тепловой энергии»**, представленную к защите на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. «Энергетические системы и комплексы»

#### **Актуальность темы диссертации**

Снижение тепловых потерь напрямую влияет на показатели эффективности транспортировки тепловой энергии. В связи с этим для теплоснабжающих организаций остается актуальным вопрос определения фактических потерь тепловой энергии в условиях эксплуатации тепловых сетей.

Важным аспектом является отсутствие возможности проведения испытаний теплосети на фактические потери тепловой энергии по действующим методикам в отопительный период по причине необходимости прекращения теплоснабжения потребителей. В летний период проведение испытаний возможно в ограниченное время плановых отключений потребителей, но при этом уменьшается время, располагаемое для ремонтов тепловых сетей и источников тепловой энергии. Проведение испытаний требует значительных подготовительных работ, материальных ресурсов.

Имитируемые при испытаниях стационарные параметры тепловой энергии, распределение температуры теплоносителя в циркуляционном кольце не соответствуют реальным параметрам в условиях эксплуатации тепловых

сетей в осенне-зимний период. Исходя из постоянных теплофизических изменений в работе системы теплоснабжения, результаты испытаний должны иметь динамический характер для случая нестационарного режима.

Данный вопрос решается путем разработки методики проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии в тепловых сетях централизованного теплоснабжения, находящихся в режиме эксплуатации.

Данные исследования являются востребованными решениями ввиду актуальности проблемы определения фактических тепловых потерь на основании проведенных испытаний тепловых сетей.

### **Структура диссертационной работы**

Диссертационная работа состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (154 наименования) и приложений (59 страниц). Общий объем работы составляет 166 страниц. Работа содержит 17 рисунков и 15 таблиц (без учета приложений).

### **Анализ содержания диссертации**

*Во введении* представлена общая характеристика работы, обоснована актуальность темы диссертации, сформулированы цель и решаемые задачи исследования, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, основные научные положения, выносимые на защиту, представлена структура работы.

*В первой главе* рассмотрены проблемы расчета фактических тепловых потерь на участках трубопроводов тепловых сетей в нестационарном режиме теплоснабжения. Из-за изменяющейся во времени температуры наружного воздуха, температуры теплоносителя потери тепловой энергии от теплоносителя в окружающую среду имеют переменное значение. Существующие методики испытаний тепловых сетей на фактические тепловые потери предполагают расчет и наведение стационарного режима работы теплосети (с постоянной температурой теплоносителя).

Для решения данного вопроса обоснована разработка методики проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии, находящиеся в эксплуатации, с использованием систем дистанционного сбора показаний средств измерений.

*Вторая глава* посвящена предложениям по решению поставленной задачи, для чего использованы методы исследования фактических потерь тепловой энергии на участках тепловых сетей с изменяющимися параметрами во времени на основе сравнения нормативных и фактических значений потерь тепловой энергии во времени.

В процессе исследования определен критерий для расчета тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции трубопроводов тепловых сетей в нестационарном режиме – скорость изменения температуры теплоносителя в начале участка теплосети. Полученная линейная зависимость соотношения фактических и нормативных тепловых потерь от скорости изменения температуры теплоносителя в начале исследуемого участка теплосети

*В третьей главе* на основании полученных результатов исследования предложена методика проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии в тепловых сетях централизованного теплоснабжения, находящихся в эксплуатации.

В методике представлен порядок проведения испытаний: выбор участков сети, подвергающихся испытаниям; фиксация измеренных фактических значений температуры теплоносителя в теплосети на выходе из источника тепловой энергии, в тепловых камерах теплосети и в тепловых пунктах потребителей; выполнение расчетов скорости изменения фактической температуры теплоносителя в начале испытываемого участка, значения нормативной температуры теплоносителя в конце участка тепловой сети с учетом нормативной величины тепловых потерь, соотношения фактических и нормативных тепловых потерь; обработка результатов испытаний; составление уравнения, описывающего зависимость соотношения величины фактических и нормативных тепловых потерь от скорости изменения температуры

теплоносителя в тепловой сети путем аппроксимация данных одной переменной методом наименьших квадратов. Аппроксимация данных по функции линейной регрессии выполняется с использованием программного комплекса MS Excel.

*В четвертой главе* представлены данные по апробированию методики проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии тепловых сетей централизованного теплоснабжения, находящихся в эксплуатации.

Полученные в ходе апробации функции линейной зависимости соотношения фактических и нормативных тепловых потерь от скорости изменения температуры теплоносителя в начале исследуемого участка теплосети имеют предложенный в исследовании вид, описывающий изменения значения потерь тепловой энергии в условиях нестационарного режима теплообмена между теплоносителем и окружающей средой.

Результаты апробации методики подтверждены натурным исследованием состояния тепловой изоляции и грунта в зоне залегания трубопроводов теплосети.

*В заключении* отражены основные научные результаты диссертационной работы.

*В приложениях* приведены акты использования и внедрения результатов исследований, свидетельства о регистрации программы для ЭВМ, таблицы результатов компьютерного моделирования.

Материал диссертации изложен последовательно, в доказательном ключе, с приведением иллюстраций. Результаты диссертации отражены в рецензируемых научных изданиях в полном соответствии с требованиями ВАК о присуждении ученых степеней.

### **Научные результаты исследования, их новизна**

1. Определен критерий для расчета тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции трубопроводов тепловых сетей в нестационарном режиме - скорость изменения температуры теплоносителя в теплосети.

2. Определена математическая зависимость изменения тепловых потерь на участке трубопроводов от скорости изменения температуры теплоносителя в теплосети для нестационарного режима работы.

3. Разработана и апробирована методика проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии тепловых сетей централизованного теплоснабжения, находящихся в нестационарном режиме эксплуатации (в режиме реального времени без ограничения теплоснабжения потребителей).

4. Решена задача цифровизации мониторинга потерь тепловой энергии по участкам действующей теплосети.

### **Значимость полученных автором диссертации результатов**

*Научная значимость результатов работы* заключается в развитии методического подхода для определения фактических потерь тепловой энергии на участках тепловых сетей с изменяющейся температурой теплоносителя.

Теоретическая значимость работы заключается в том, что параметры тепловой энергии, полученные с использованием средств измерений и системы дистанционной передачи показаний приборов, позволили определить критерий для расчета тепловых потерь через теплоизоляционные конструкции трубопроводов тепловых сетей в нестационарном режиме; позволили разработать методический подход для определения фактических потерь тепловой энергии на участках тепловых сетей с изменяющейся температурой теплоносителя; разработать методику проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии тепловых сетей централизованного теплоснабжения, находящихся в нестационарном режиме эксплуатации (в режиме реального времени без ограничения теплоснабжения потребителей).

Практическая значимость работы заключается в том, что:

1. Разработана методика проведения испытаний на фактические потери тепловой энергии в тепловых сетях централизованного теплоснабжения, находящихся в режиме эксплуатации. Методика позволяет обеспечить проведение испытаний тепловых сетей на фактические потери тепловой энергии

без ограничения теплоснабжения потребителей, а также мониторинг сверхнормативных потерь тепловой энергии по участкам действующей теплосети. Методика внедрена в теплоснабжающих организациях коммунального комплекса АО «Татэнерго», АО «Казэнерго» (представлены Акты внедрения).

2. Разработаны программные продукты на основании предложенных в диссертационном исследовании алгоритма и методического подхода к определению фактических потерь тепловой энергии в тепловых сетях централизованного теплоснабжения. Программные продукты имеют Свидетельства о государственной регистрации.

### **Конкретные рекомендации по использованию результатов и выводов, приведенных в диссертации**

Результаты диссертационной работы могут быть использованы:

- в инжиниринговой деятельности предприятий при проведении исследования устойчивоспособности энергетической системы в случае отказа оборудования выдачи тепловой мощности источника тепловой энергии, возможностей сохранения минимально-допустимых тепловых нагрузок в энергетической системе при ограничении теплоснабжения потребителей при дефиците мощности или топлива на источнике тепловой энергии;

- в производственной деятельности при разработке мероприятий по цифровизации мониторинга потерь тепловой энергии в действующей теплосети для организации работы по снижению технологических потерь тепловой энергии, а также по мониторингу качества теплоснабжения потребителей.

### **На обсуждение выносятся следующие вопросы и замечания**

1. В третьей главе диссертационной работы по тексту предлагаемой методики не изложены принципы и критерии оснащённости системы теплоснабжения средствами измерения температуры теплоносителя, необходимыми и достаточными для применения методики испытаний и

получения достоверных результатов по определению тепловых потерь. Стоит пояснить, как влияет оснащенность теплосети от источника до потребителей средствами измерения температуры теплоносителя на результаты использования предлагаемой методики.

2. В третьей главе диссертационной работы в таблице 11 указано, что результаты испытаний по предложенной методике более достоверны ввиду большего количества данных для обработки и меньшей величиной дисперсии (отклонение случайных выбегов показаний средств измерений из-за их погрешности). При этом, оценка погрешности средств измерений по тексту работы отсутствует. Требуется пояснить влияние погрешности средств измерений на результаты испытаний и какие конкретно требования должны предъявляться к средствам измерений в отношении погрешности измерения.

3. В четвертой главе диссертационной работы при выполнении апробации методики испытаний источником данных о расходах теплоносителя и времени прохождения температурной волны от начала участка испытываемого теплосети до его конца является электронная модель системы теплоснабжения. При этом не исследован вопрос соответствия тепловых нагрузок, характеристик теплосети в электронной модели и их фактических значений. Требуется обосновать почему принято именно такое решение для апробации методики.

4. В заключении диссертационной работы указано, что зависимость соотношения фактических и нормативных тепловых потерь от скорости изменения температуры теплоносителя в теплосети имеет вид:

$$K = f(\Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}}) = A \times \Delta T_{\tau_0}^{\text{тн.нач}} + B ,$$

где  $A$  - коэффициент, характеризующий степень влияния скорости изменения температуры теплоносителя. Также указано то, что в нестационарном режиме работы теплосети, когда скорость изменения температуры теплоносителя не равна нулю, происходит усвоение либо отдача тепловой энергии материала трубопровода и окружающей среды к теплоносителю.

При этом необходимо обосновать логику данного утверждения и причины усвоения/отдачи тепловой энергии от материала трубопровода и окружающей

среды к теплоносителю, а также пояснить в связи с чем коэффициент  $A$  имеет различные значения по исследуемым участкам трубопроводов.

Следует отметить то, что указанные замечания не снижают научную ценность и не изменяют положительную оценку диссертационной работы.

**Заключение о соответствии диссертации критериям, установленным «Положением о порядке присуждения ученых степеней», утвержденным Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 25.01.2024)**

В соответствии с п.9 диссертационная работа является научно-квалифицированной работой, в которой изложены новые научно обоснованные технические разработки, имеющие существенное значение для развития теплоэнергетики страны.

В соответствии с п. 10 диссертация написана автором самостоятельно, обладает внутренним единством, содержит новые научные результаты и положения, выдвигаемые для публичной защиты, и свидетельствует о личном вкладе автора диссертации в науку. Диссертация содержит сведения о практическом использовании полученных автором научных результатов. Предложенные автором диссертации решения аргументированы.

В соответствии с п.п. 11 и 13 основные научные результаты исследований опубликованы в 11 научных публикациях, в том числе 3 статьи в рецензируемых журналах, входящих в перечень ВАК Минобрнауки России, 2 статьи в изданиях, индексируемых в международных базах данных цитирования Web of Science и Scopus, 2 свидетельства о регистрации программы для ЭВМ, их количество соответствует требованиям на соискание ученой степени кандидата технических наук.

В соответствии с п. 14 диссертационная работа содержит ссылки на источники заимствования материалов и на работы других авторов.



## Заключение

Диссертация Лапина Константина Викторовича на тему «Методика испытаний сетей централизованного теплоснабжения в эксплуатации на фактические потери тепловой энергии» является законченной научно-квалификационной работой, содержащая новые научно обоснованные технические решения, имеющие существенное значение для развития теплоэнергетической отрасли.

Диссертационная работа по своему теоретическому уровню и практическому значению соответствует предъявляемым требованиям п.п. 9-14 «Положения о порядке присуждения ученых степеней», утвержденного Постановлением Правительства Российской Федерации от 24.09.2013 г. № 842 (ред. от 25.01.2024), а ее автор, Лапин Константин Викторович заслуживает присуждения ему ученой степени кандидата технических наук по специальности 2.4.5. – «Энергетические системы и комплексы».

Отзыв на диссертацию Лапина Константина Викторовича «Методика испытаний сетей централизованного теплоснабжения в эксплуатации на фактические потери тепловой энергии» обсужден и одобрен на заседании Высшей школы атомной и тепловой энергетики ФГАОУ ВО «СПбПУ», протокол № 7 от 30.10.2024.

Кандидат технических наук, доцент,  
директор Высшей школы атомной  
и тепловой энергетики  
ФГАОУ ВО «СПбПУ»

Калютик Александр Антонович

Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Адрес: 195251, Санкт-Петербург, вн.тер.г. муниципальный округ Академическое, Политехническая ул., д. 29, литера Б  
тел.: +7 (3822) 60-63-33,  
web – сайт: <http://iets.spbstu.ru/>,  
e-mail: [director@iets.spbstu.ru](mailto:director@iets.spbstu.ru)

